

PAT-NO: JP02001024592A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001024592 A
TITLE: OPTICAL AMPLIFIER
PUBN-DATE: January 26, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HAZELL, NEVILLE	N/A
XUE-HANG, SHAN	N/A
WILLEITS, DEREK	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ALCATEL	N/A

APPL-NO: JP2000141434

APPL-DATE: May 15, 2000

PRIORITY-DATA: 999911665 (May 19, 1999)

INT-CL (IPC): H04B010/14, H04B010/06 , H04B010/04 , G02F001/35 ,
H01S003/10
 , H01S003/131 , H01S003/30 , H04J014/00 , H04J014/02
 , H04B010/17 , H04B010/16

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an optical amplifier for a wavelength division multiplexing communication system.

SOLUTION: The optical amplifier consists of a 1st amplifier stage for generating a wavelength dependent gain tilt in one direction in response to a gain change, a 2nd amplifier stage 3 for generating a wavelength dependent gain tilt in the reverse direction in response to a change corresponding to the gain and a gain control means 4 for controlling the gains of the 1st and

2nd

amplifier stages 2, 3 and maintaining the almost flat response of the amplifier

over a fixed period. The 1st amplifier stage 2 is an optical transmission

fiber of a fixed length for providing a Raman amplifier. The optical amplifier

uses dynamic gain tilt control adjustment while maintaining a fixed output

level outputted from the amplifier 1.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-24592

(P2001-24592A)

(43) 公開日 平成13年1月26日 (2001.1.26)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード [*] (参考)
H 0 4 B 10/14		H 0 4 B 9/00	S
10/06		G 0 2 F 1/35	5 0 1
10/04		H 0 1 S 3/10	Z
G 0 2 F 1/35	5 0 1	3/131	
H 0 1 S 3/10		3/30	Z

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L 外国語出願 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-141434 (P2000-141434)

(22) 出願日 平成12年5月15日 (2000.5.15)

(31) 優先権主張番号 9 9 1 1 6 6 5 . 9

(32) 優先日 平成11年5月19日 (1999.5.19)

(33) 優先権主張国 イギリス (G B)

(71) 出願人 391030332

アルカテル

フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ

エティ 54

(72) 発明者 ネビル・ハゼル

イギリス国、ケント・ビー・アール・4・

0・デイ・エツクス、ウエスト・ウィツク

ハム、ザ・アベニュー・27

(74) 代理人 100062007

弁理士 川口 義雄 (外3名)

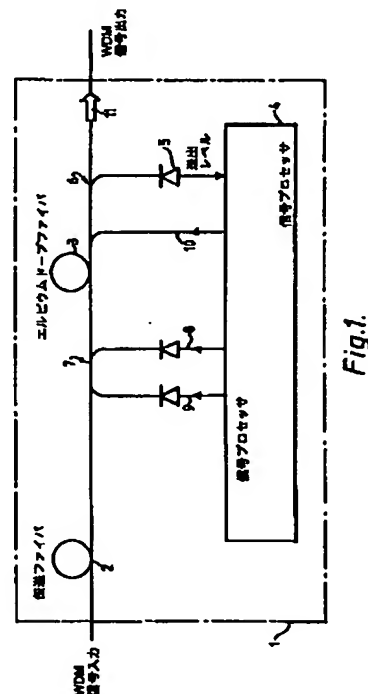
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 波長分割多重通信システムのための光増幅器を提供する。

【解決手段】 この光増幅器は、ゲインの変化に応答して一つの方向に波長依存ゲインチルトを生じる第1の増幅器段と、ゲインの対応する変化に応答して逆方向に波長依存ゲインチルトを生じる第2の増幅器段3と、第1の増幅器段2および第2の増幅器段3のゲインを制御して、増幅器のほぼ平坦な応答を時間にわたって維持するためのゲイン制御手段4とからなり、第1の増幅器段2がラマン増幅器を提供する一定の長さの光伝送ファイバである。本発明は増幅器1からの一定の出力レベルを維持しながら動的ゲインチルト調節を用いる光増幅器を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長分割多重通信システムのための光増幅器(1)であって、

ゲインの変化に応答して一つの方向に波長依存ゲインチルトを生じる第1の増幅器段(2)と、

ゲインの対応する変化に応答して逆方向に波長依存ゲインチルトを生じる第2の増幅器段(3)と、

第1および第2の増幅器段のゲインを制御して、増幅器のほぼ平坦な応答を時間にあたって維持するためのゲイン制御手段(4)とからなり、第1の増幅器段が、ラマン増幅器を提供する一定の長さの光伝送ファイバである光増幅器(1)。

【請求項2】 ゲイン制御手段(4)が、光増幅器(1)の出力に結合された信号処理回路からなり、該信号処理回路が、光増幅器(1)の出力レベルの変化を検知し、それに応じて第1の増幅器段(2)および第2の増幅器段(3)のゲインを調節するように構成されている、請求項1に記載の光増幅器(1)。

【請求項3】 信号処理回路が、少なくとも1つの増幅器段の周りの負のフィードバック制御ループ内に構成されたポンプ制御回路(12、13)からなり、増幅器の出力レベルの低下が検知されたとき、それに応じて第1の増幅器段および第2の増幅器段のゲインが調節され、増幅器の出力がほぼ一定のレベルに維持される、請求項2に記載の光増幅器(1)。

【請求項4】 第2の増幅器段(3)がエルビウムドープファイバ増幅器である、請求項1から3のいずれか一項に記載の光増幅器(1)。

【請求項5】 ゲイン制御手段(4)が、第1の増幅器段(2)および第2の増幅器段(3)にポンプ光を供給するように構成された少なくとも1つのポンプソース(12、13)からなり、そのポンプ光のパワーが、増幅器(1)の出力レベルに応じて決定される、請求項1から4のいずれか一項に記載の光増幅器(1)。

【請求項6】 ポンプ光の所定の割合を第1の増幅器段(2)に結合して、それによって第1の方向に波長依存ゲインチルトを生じ、かつポンプ光の所定の割合を第2の増幅器段(3)に結合して、それによって逆方向に波長依存ゲインチルトを生じるように構成された光スプリッタ(17)からなる、請求項5に記載の光増幅器。

【請求項7】 ゲイン制御手段が、2つのポンプソース(12、13)からなり、第1のポンプソース(12)は、第1の増幅器段および第2の増幅器段を逆方向ポンプするように構成され、第2のポンプソース(13)は、第1の増幅器段(2)と第2の増幅器段(3)の一方を同方向ポンプするように構成された、請求項5または6に記載の光増幅器(1)。

【請求項8】 請求項1から7のいずれか一項に記載の光増幅器(1)からなる、海底通信システムのための光中継器(1)。

【請求項9】 請求項8に記載の少なくとも1つの光中継器からなる海底通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光増幅器に関し、詳細には波長分割多重(WDM)通信ネットワークに用いるのに好適な光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】光増幅されたWDM通信システムでは、全てのWDMチャネルについて容認できる信号対雑音比(SNR)を達成するために、特定の入力チャネルの波長のいかににかかわらず、光増幅器のゲインが一定の値を有する必要がある。これはゲイン平坦性と呼ばれ、固定の入力レベルにおける波長に対するゲインの変化率の値が、低いかまたはゼロであることと規定される。従来の増幅器は、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)の慎重な設計およびゲイン平坦化フィルタの使用によって、ゲイン平坦性を達成するものである。さらに、入力レベルが変化したときに光増幅器から一定の出力レベルを確保するために、たいていの光増幅器は、ポンプレベルを制御することによってゲインを調節する自動レベル制御(ALC)回路をも含んでいる。しかし、ポンプレベルが調節されたとき、増幅器のゲインの平坦性が悪影響を受け、EDFAが劣化するまたはEDFAにゲインチルトが導入される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】この問題に対処するために、固定ゲイン平坦化フィルタを用いることができる。しかし、入力レベルの変化は、ケーブルのエージング、ケーブルの補修、または増幅器内の別のEDFAの故障によって起こり、これらは全て経時変化する可能性がある。固定ゲイン平坦化フィルタは、これらの変化に起因するゲインチルトの変化を補償することができない。動的なゲインチルト調節を行わせるために、可変ゲインイコライザの利用またはEDFAの入力に結合する外部減衰器の使用などの別の方法が提案されている。しかし、これらの装置は高価であり、時間にあたる増幅器ゲインの損失が避けられなくなる。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様によれば、波長分割多重通信システムのための光増幅器は、ゲインの変化に応答して一つの方向に波長依存ゲインチルトを生じる第1の増幅器段と、ゲインの対応する変化に応答して逆方向に波長依存ゲインチルトを生じる第2の増幅器段と、第1および第2の増幅器段のゲインを制御して、増幅器のほぼ平坦な応答を時間にあたって維持するためのゲイン制御手段とからなり、第1の増幅器段がラマン増幅器を提供する一定の長さの光伝送ファイバである。

【0005】本発明は、増幅器からの一定の出力レベル

を維持しながら、動的ゲインチルト調節を用いる光増幅器を提供する。したがって、この増幅器は、入力レベルの変化が上述のように多くの予期できない要因の結果として起こりうる、海底の通信ネットワークの光中継器に用いるのに特に好適である。

【0006】ゲイン制御手段は、増幅器の出力レベルの変化を検知しそれに応答して第1の増幅器段および第2の増幅器段のゲインを調節するように構成された、光増幅器の出力に結合された信号処理回路からなり、この信号処理回路は、少なくとも1つの増幅器段の周りの負のフィードバック制御ループ内に構成されたポンプ制御回路からなり、増幅器の出力レベルの低下が検知されたとき、第1の増幅器段および第2の増幅器段のゲインがそれに応じて調節され、増幅器の出力がほぼ一定のレベルに維持されるようになることが好ましい。

【0007】増幅器の出力レベルを一定レベルに維持すると同様に、入力信号波長に対する増幅器のゲインチルトが、ほぼ平坦に保たれる。

【0008】ゲイン制御手段は、第1の増幅器段および第2の増幅器段にポンプ光を供給するように構成された少なくとも1つのポンプソースからなり、ポンプ光のパワーが増幅器の出力レベルに応じて制御されることが好ましい。

【0009】増幅器は、さらに光スプリッタからなることがより好ましく、該光スプリッタは、ポンプ光の所定の割合を第1の増幅器段に結合して、それによって第1の方向に波長依存ゲインチルトを生じ、かつポンプ光の所定の割合を第2の増幅器段に結合して、それによって逆方向に波長依存ゲインチルトを生じるように構成されている。

【0010】増幅器のゲインの必要な増加の全量は、第1の増幅器段のゲイン増分および第2の増幅器段のゲイン増分によって提供することができる。したがって、増幅器の出力レベルは維持され、望ましくないゲインチルトは増幅器応答に導入されない。

【0011】本発明の第2の態様によれば、海底通信システムの光中継器は、本発明の第1の態様による光増幅器からなる。

【0012】本発明の第3の態様によれば、海底通信システムは、本発明の第2の態様による少なくとも1つの光中継器からなる。

【0013】

【発明の実施の形態】添付図面を参照して、本発明の例について詳細に説明する。

【0014】図1は、本発明による光増幅器の例のブロック図を示す。増幅器1は、直列に接続されたラマン増幅器段を提供する一定の長さの伝送ファイバ2と、EDFA3とを有する。増幅器のフィードバックループの光電検出器5は、増幅器1を通して伝播する光信号の送出レベル出力を検知し、カブラ6を介して検知されたレベ

ルを信号処理回路4に結合する。増幅器1はまた、WDMカブラ7を介して伝送ファイバ2およびEDFA3の各々をポンプする（図示されていない）ポンプソースも含む。本例において、ポンプソースは信号処理回路4内に含まれる。ポンプ光は、信号処理回路4と伝送ファイバ2およびEDFA3との間の接続部8、9、および10を介して、ポンプソースから提供される。光アイソレータ11は、増幅器1の出力部に提供される。

【0015】図2は、図1に示す光増幅器に用いるのに好適な信号処理回路4のブロック図を示す。信号処理回路4は、980nmの波長でEDFA3を同方向ポンプ（co-pump）するように構成された第1のポンプソース12と、1475nmの波長でEDFA3およびラマン増幅器段2を逆方向ポンプ（counter-pump）するように構成された第2のポンプソース13とを有する。ポンプソース12のポンプレベルは、一定の値に設定されるが、ポンプソース13のポンプレベルは、以下で説明するように検知された増幅器1の送出レベル出力に応じて変化する。信号処理回路4は、負のフィードバック制御ループ中に構成されたコンパレータ15を有するALCユニット14をも有する。増幅器1からの送出レベル出力および電圧基準信号発生器16からの電圧基準信号は、コンパレータ15への入力として用いられる。エラー信号の変化が、ポンプソース13のポンプレベルに対応する変化を生じ、コンパレータ15からの出力は、ポンプソース13のポンプレベルを制御するためのエラー信号として用いられる。電圧基準信号を所望のレベルに設定すると、コンパレータ15の出力、従って増幅器1の送出レベル出力を制御することができる。

【0016】スプリッタ17は、ポンプソース13からの出力を分割するように構成され、ポンプソース13の全出力パワーの所定の割合が、EDFA3および伝送ファイバ2の各々を逆方向ポンプするのに用いられる。以下で説明するように、分割の比率は、使用者の必要に応じて自由に設定してよい。

【0017】次に、増幅器1の動作を図1および図2を参照して説明する。増幅器1への入力レベルが公称値から減少すると、通常は、増幅器1の送出レベル出力がそれに応じて減少する。この場合、送出レベル出力が減少すると、コンパレータ15からの出力が増加し、したがってポンプソース13のポンプレベルが増加する。しかし、EDFA3に供給されるポンプレベルが増加すると、EDFA3の出力に時計回りのゲインチルトが生じる（長波長より短波長の方が、ゲインがより高くなる（図2参照））。通常、12nmの波長範囲では、10dBのEDFAで、ゲインチルトは0.2dB/dB程度となる。したがって、ゲインチルトにおけるこの変化を補償するために、伝送ファイバ2もまた、ポンプソース13によって逆方向ポンプされ、一定量のラマン増幅

を提供する。EDFA3によって生じる時計回りのゲインチルト変化と対照的に、1548～1560nmの範囲のWDM信号は、ラマンゲインが増加すると反時計回りのゲインチルトを生じる(図4参照)。通常、伝送ファイバ3は、 440 cm^{-1} 程度のラマンゲインを有することができ、これは1480nmポンプでは約100～110nmである。ゲインチルトの変化は、0.3dB/dB程度になる。したがって、伝送ファイバのラマンゲインのゲインチルトにおける逆の変化を用いて、EDFAにおけるゲインチルトの変化を補償することが可能である。

【0018】増幅器1の入力レベルに減少があるとき、増幅器の出力レベルを一定値に維持するのに必要な余分のゲインは、EDFA3のゲインの増分および伝送ファイバ2のラマン増幅器のゲインの増分の両者により提供される。したがって、増幅器1のゲインチルトの全変化は最小限化される。

【0019】使用の際、増幅器1の光出力の一部は、光電検知器5を介した信号処理回路4への送出レベル出力として、負のフィードバック制御ループの中に向けられる。電圧基準信号発生器16は、電圧基準信号Vrefをコンパレータ15の正の端子に提供し、光電検知器5からの送出レベル出力は、コンパレータ15の負の端子に結合される。送出レベル出力が、通常増幅器1への入力レベルの減少に応じて低下すると、負のフィードバック制御ループは、ポンプソース13によって供給されるポンプレベルを増加するように作用し、これによりラマン増幅器2およびEDFA3のそれぞれのゲインを増加させる。

【0020】ポンプソース13の出力は、スプリッタ17に結合され、これによりEDFA3およびラマン増幅器2のポンプレベルが、確実に増幅器1のゲインチルトの平坦性を維持するために、送出レベル出力の変化に応じて同時に調節される。たとえば、送出レベル出力の3dBの減少が信号処理回路4によって検知されると、送出レベル出力を一定レベルに維持するために、増幅器1のゲインに対応する3dBの増加が必要となる。これを達成するためには、EDFA3のゲインを1.8dB増加させ、ラマン増幅器2のゲインを1.2dB増加させてもよい。ポンプソース13からEDFA3およびラマン増幅器段2の各々に供給されるパワーの比率は、スプリッタ17によって設定され、使用者の必要に応じて決められる。こうして増幅器1の送出レベル出力は一定値に維持され、同時に増幅器1のゲインチルトも確実にほぼ平坦に維持される。

【0021】図3および図4は、それぞれ入力信号の波長に対する、EDFA増幅器およびラマン増幅器の正規化されたゲインのグラフを示す。グラフは、1544nm～1560nmの波長範囲にわたって、EDFAのゲインチルトが変化する様子を示す。ゲインの低い値では

ゲインチルトは正で、ゲインの高い値ではゲインチルトは負である。これと対照的に、伝送ファイバのラマンゲインについては、低い値のゲインではゲインチルトが負となり、高い値のゲインではゲインチルトが正となる。

【0022】図5は、入力信号の波長に対する、EDFA増幅器とラマン増幅器との結合され正規化されたゲインのグラフを示す。図3および図4のグラフに示す効果の結合により、1544～1560nmの範囲にわたる一定の平坦なゲインチルトが得られる。

【0023】図6は、それぞれ本発明によるいくつかの光増幅器を組み込んだ、いくつかの光中継器20を有する海底通信ネットワークを示す。このネットワークは、いくつかのこのような光中継器20を介して、第1の端局19₁と第2の端局19₂とを結合する海底ケーブル18を有する。各光中継器20の出力レベルは、それぞれの信号プロセッサの基準電圧信号Vrefに適切な値を設定することにより決めることができる。各中継器は、本発明による光増幅器を含むので、海底ケーブルの各光ファイバのWDM信号の相対チャネルレベルは、リンク全体にわたって維持される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光増幅器のブロック図を示す。

【図2】図1に示す光増幅器に用いるのに好適な信号処理回路のブロック図を示す。

【図3】入力信号の波長に対するEDFAの正規化されたゲインのグラフを示す。

【図4】入力信号の波長に対するラマン増幅器の正規化されたゲインのグラフを示す。

【図5】入力信号の波長に対するEDFA増幅器およびラマン増幅器の結合され正規化されたゲインのグラフを示す。

【図6】本発明による増幅器を有するいくつかの中継器を有する通信ネットワークを示す図である。

【符号の説明】

- 1 光増幅器
- 2 伝送ファイバ
- 3 EDFA
- 4 信号処理回路
- 5 光電検出器
- 6 カブラ
- 7 WDMカブラ
- 11 光アイソレータ
- 12 第1のポンプソース
- 13 第2のポンプソース
- 14 ALCユニット
- 15 コンパレータ
- 16 電圧基準信号発生器
- 17 スプリッタ
- 18 海底ケーブル
- 19 端局

【図1】

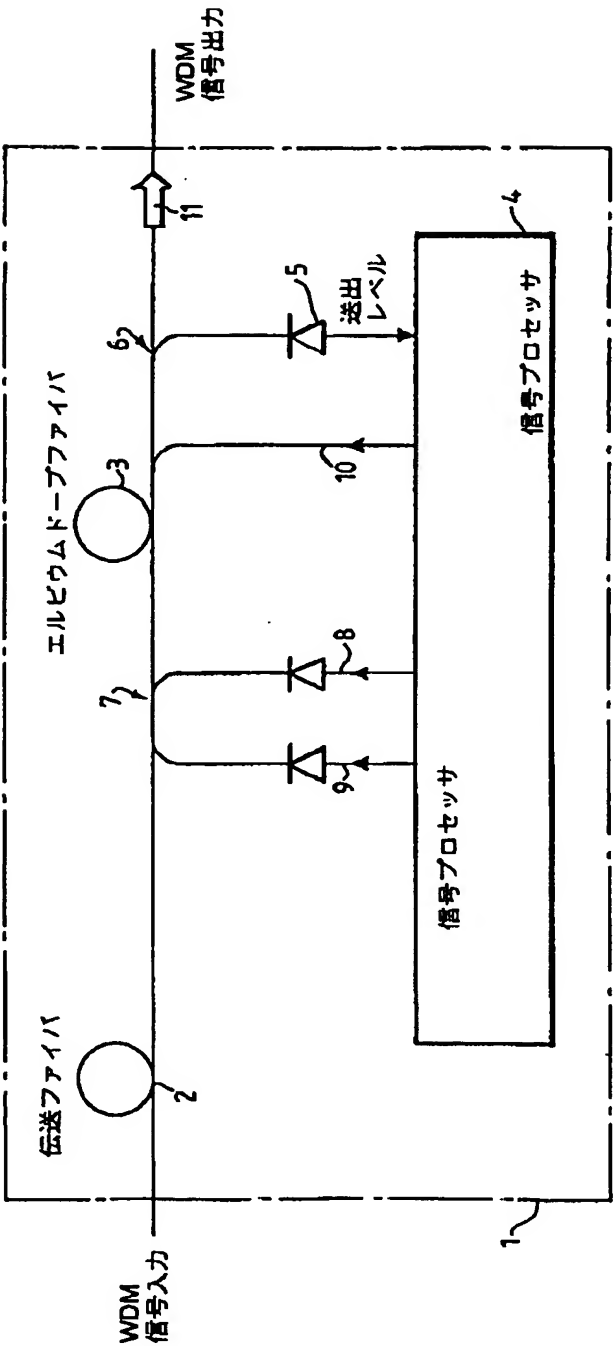


Fig.1.

【図2】

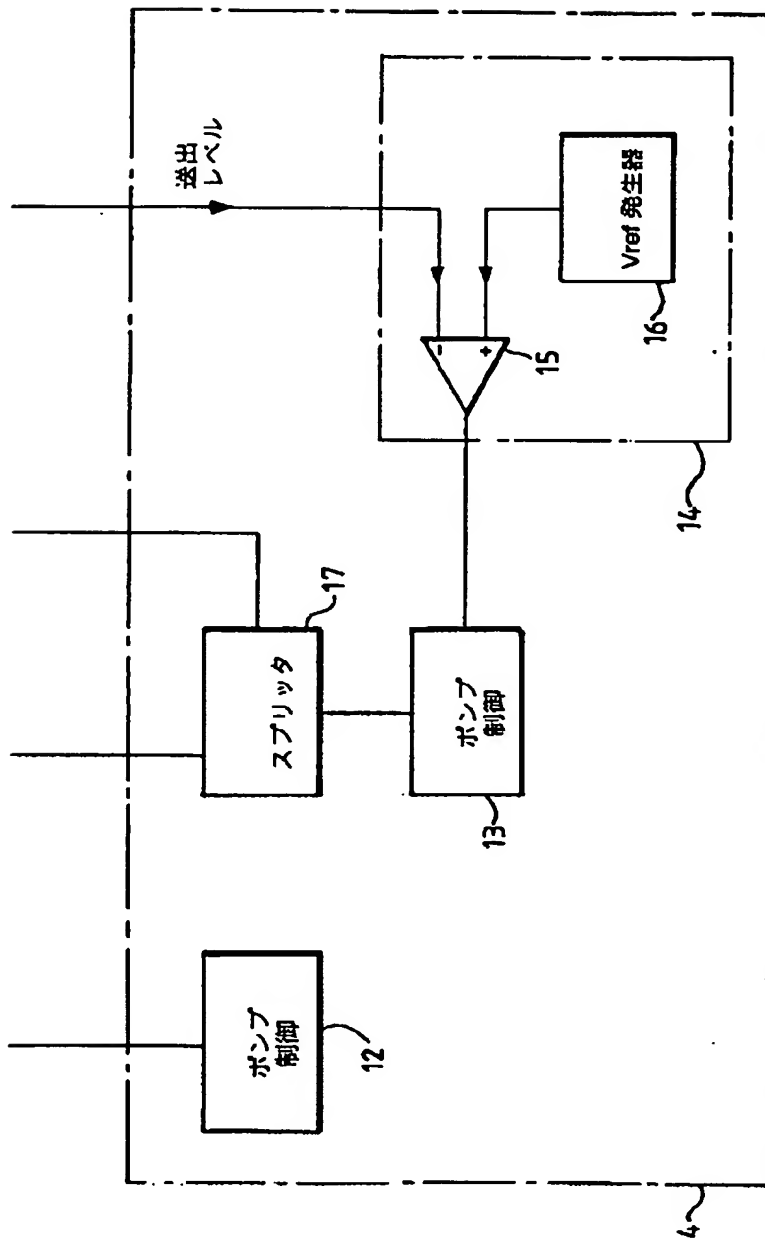


Fig.2.

【図3】

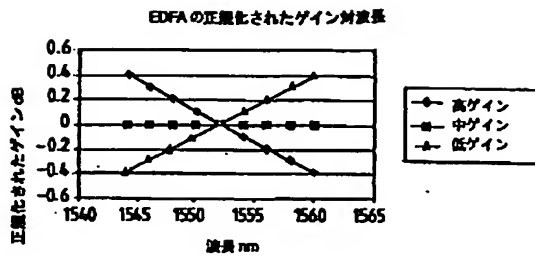


Fig.3.

【図4】

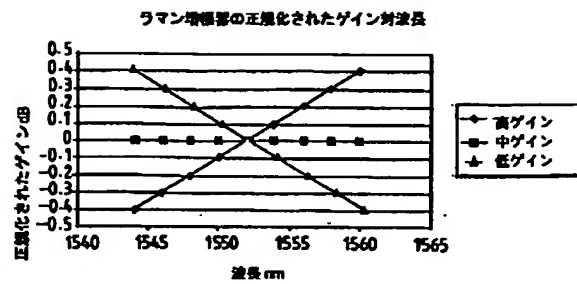


Fig.4.

【図5】

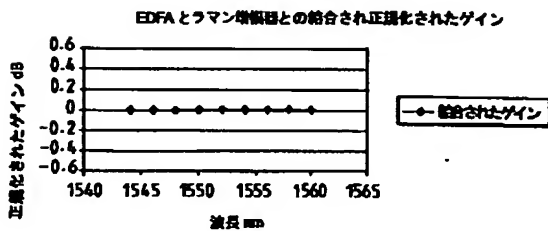


Fig.5.

【図6】

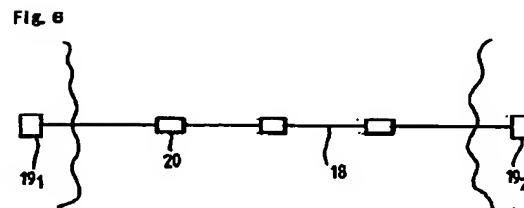


Fig.6.

フロントページの続き

(51)Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 1 S 3/131		H 0 4 B 9/00	E
3/30			J
H 0 4 J 14/00			
14/02			
H 0 4 B 10/17			
10/16			

(72)発明者 シヤン・スーカン
イギリス国、ロンドン・エス・イー・28・
0・エイチ・エス、テムズミード・ウエス
ト、マーベリイ・ロード・9

(72)発明者 デレク・ウイレツツ
イギリス国、ケント・デイ・エイ・2・
6・エヌ・エル、ダートフォード、フリー
ト・アベニュー・34

【外国語明細書】

1. Title of Invention

AN OPTICAL AMPLIFIER

2. Claims

1. An optical amplifier (1) for a wavelength division multiplexed communications system, comprising:

a first amplifier stage (2) responsive to changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in one direction;

a second amplifier stage (3) responsive to corresponding changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in an opposite direction; and,

gain control means (4) for controlling the gain of the first and second amplifier stages to maintain a substantially flat response for the amplifier over time in which the first amplifier stage is a length of optical transmission fibre providing a Raman amplifier.

2. An optical amplifier (1) according to claim 1, in which the gain control means (4) comprises a signal processing circuit coupled to an output of the optical amplifier (1) arranged to detect changes in output level of the amplifier (1) and adjust the gains of the first amplifier stage (2) and the second amplifier stage (3) accordingly.

3. An optical amplifier (1) according to claim 2, in which the signal processing circuit comprises a pump control circuit (12,13) arranged in a negative feedback control loop around at least one amplifier stage, such that when a decrease in output level of the amplifier is detected the gains of the first amplifier stage and the second amplifier stage are adjusted accordingly to maintain the output of the amplifier at a substantially constant level.

4. An optical amplifier (1) according to any preceding claim, in which the second amplifier stage (3) is an Erbium Doped Fibre Amplifier.
5. An optical amplifier (1) according to any preceding claim, in which the gain control means (4) comprises at least one pump source (12,13) arranged to provide pump light to the first amplifier stage (2) and to the second amplifier stage (3), the power of the pump light being determined in dependence on the output level of the amplifier (1).
6. An optical amplifier according to claim 5, comprising an optical splitter (17) arranged to couple a predetermined proportion of the pump light to the first amplifier stage (2) thereby causing a wavelength dependent gain tilt in a first direction and a predetermined proportion of the pump light to the second amplifier stage (3) thereby causing a wavelength dependent gain tilt in an opposite direction.
7. An optical amplifier (1) according to claim 5 or 6, in which the gain control means comprises two pump sources (12,13) in which a first pump source (12) is arranged to counter-pump the first amplifier stage and the second amplifier stage, and a second pump source (13) is arranged to co-pump one of the first amplifier stage (2) and the second amplifier stage (3).
8. An optical repeater (1) for a submarine communications system comprising an optical amplifier (1) according to any preceding claim.
9. A submarine communications system comprising at least one optical repeater according to claim 8.

3. Detailed Description of Invention

Field of the Invention

The present invention relates to an optical amplifier and in particular an optical amplifier suitable for use in a Wavelength Division Multiplexed (WDM) communications network.

Background to the Invention

In optically amplified WDM communications systems, to achieve acceptable signal-to-noise ratios (SNR) for all WDM channels it is necessary to have a constant value of gain for an optical amplifier irrespective of the wavelength of any particular input channel. This is known as gain flatness and is defined as a low or zero value of the rate of change of gain with respect to wavelength at a fixed input level. Conventional amplifiers achieve gain flatness by careful design of Erbium Doped Fibre Amplifiers (EDFAs) and with the use of gain flattening filters. In addition, to ensure a constant output level from an optical amplifier when the input level changes most optical amplifiers also include an Automatic Level Control (ALC) circuit to adjust the gain by controlling the pump level. However, when the pump level is adjusted, the gain flatness of the amplifier is adversely affected exacerbating or introducing a gain tilt to the EDFA.

Fixed gain flattening filters may be used to address this problem. However, input level changes can be caused by cable ageing, cable repair or a fault in another EDFA in the amplifier, all of which may vary with time. Fixed gain flattening filters can not compensate the gain tilt changes that are caused by these variations. Alternative methods have been proposed to provide dynamic gain tilt adjustment, for example, making use of a variable gain equaliser or using an external

attenuator coupled to the input of the EDFA. However, these devices are expensive and lead to an inevitable loss of gain of the amplifier over time.

Summary of the Invention

According to a first aspect of the present invention, an optical amplifier for a wavelength division multiplexed communications system, comprises:

a first amplifier stage responsive to changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in one direction;

a second amplifier stage responsive to corresponding changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in an opposite direction; and,

gain control means for controlling the gain of the first and second amplifier stages to maintain a substantially flat response for the amplifier over time in which the first amplifier stage is a length of optical transmission fibre providing a Raman amplifier.

The present invention provides an optical amplifier which uses dynamic gain tilt adjustment whilst maintaining a constant output level from the amplifier. As such, the amplifier is particularly suitable for use in an optical repeater in a submarine communications network in which changes in the input level can occur as a result of many unpredictable factors as discussed above.

Preferably, the gain control means comprises a signal processing circuit coupled to an output of the optical amplifier arranged to detect changes in output level of the amplifier and adjust the gains of the first amplifier stage and the second amplifier stage accordingly and the signal

processing circuit comprises a pump control circuit arranged in a negative feedback control loop around at least one amplifier stage, such that when a decrease in output level of the amplifier is detected the gains of the first amplifier stage and the second amplifier stage are adjusted accordingly to maintain the output of the amplifier at a substantially constant level.

As well as maintaining the output level of the amplifier at a constant level, the gain tilt of the amplifier with respect to input signal wavelength is maintained as substantially flat.

Preferably, the gain control means comprises at least one pump source arranged to provide pump light to the first amplifier stage and to the second amplifier stage, the power of the pump light being controlled in dependence on the output level of the amplifier.

More preferably, the amplifier further comprises an optical splitter arranged to couple a predetermined proportion of the pump light to the first amplifier stage thereby causing a wavelength dependent gain tilt in a first direction and a predetermined proportion of the pump light to the second amplifier stage thereby causing a wavelength dependent gain tilt in an opposite direction.

The overall increase in gain of the amplifier which is required can be provided by an increment in gain of the first amplifier stage and an increment in gain of the second amplifier stage. Therefore, the output level of the amplifier will be maintained and no undesired gain tilt will be introduced into the amplifier response.

According to a second aspect of the present invention, an optical repeater for a submarine communications system comprises an optical amplifier according to the first aspect of the present invention.

According to a third aspect of the present invention, a submarine communications system comprises at least one optical repeater according to the second aspect of the present invention.

An example of the present invention will now be described in detail with reference to the accompanying drawings.

Figure 1 shows a block diagram of an example of an optical amplifier according to the present invention. The amplifier 1 has a length of transmission fibre 2 providing a Raman amplifier

stage and an EDFA 3 connected in series. A photodetector 5 in a feedback loop in the amplifier detects a Send Level output of an optical signal propagating through the amplifier 1 and couples the detected level to the signal processing circuit 4 via a coupler 6. The amplifier 1 also includes pump sources (not shown) for pumping each of the transmission fibre 2 and the EDFA 3 via a WDM coupler 7. In this example, the pump sources are contained within the signal processing circuit 4. The pump light is provided from the pump sources via connections 8, 9 and 10 between the signal processing circuit 4 and the transmission fibre 2 and the EDFA3. An optical isolator 11 is provided at the output of the amplifier 1.

Figure 2 shows a block diagram of a signal processing circuit 4 suitable for use in the optical amplifier shown in Figure 1. The signal processing circuit 4 has a first pump source 12 arranged to co-pump the EDFA 3 at a wavelength of 980nm and a second pump source 13 arranged to counter-pump the EDFA 3 and the Raman amplifier stage 2 at a wavelength of 1475nm. The pump level of pump source 12 is set at a constant value whereas, as will be described below, the pump level of pump source 13 is variable in dependence on the detected Send Level output of amplifier 1. The signal processing circuit 4 also has an ALC unit 14 having a comparator 15 arranged in a negative feedback control loop. The Send Level output from the amplifier 1 and a voltage reference signal from a voltage reference signal generator 16 are used as inputs to the comparator 15. The output from the comparator 15 is used as an error signal to control the pump level of pump source 13 in that a change in the error signal will cause a corresponding change in the pump level of pump source 13. By setting the voltage reference signal at a desired level, the output of the comparator 15 and hence the Send Level output of the amplifier 1 can be controlled.

A splitter 17 is arranged to split the output from pump source 13, a predetermined proportion of the total output power of pump source 13 being used to counter-pump each of the EDFA 3 and the transmission fibre 2. As will be described below, the ratio of the split may be set independently in accordance with a user's needs.

The operation of the amplifier 1 will now be described with reference to Figures 1 and 2. When the input level to the amplifier 1 decreases from a nominal value this would ordinarily lead to a corresponding decrease in the Send Level output of the amplifier 1. In this case, when the Send Level output decreases the output from comparator 15 increases thereby increasing the pump level of pump source 13. However, increasing the pump level supplied to the EDFA 3 causes a clockwise gain tilt in the output of the EDFA 3 (shorter wavelengths will experience higher gain than longer wavelengths (see Figure 2)). Typically, for a 10dB EDFA the gain tilt will be of the order of 0.2dB/dB over a 12nm wavelength range. Therefore, to compensate for this change in gain tilt, the transmission fibre 2 is also counter-pumped by pump source 13 to provide an amount of Raman amplification. In contrast to the clockwise gain tilt change caused by the EDFA 3, WDM signals in the range 1548 to 1560nm will see a counterclockwise gain tilt when the Raman gain increases (see Figure 4). Typically, the transmission fibre 3 can have a Raman gain of the order of 440 cm^{-1} which is about 100-110nm for a 1480nm pump. The change in gain tilt will be of the order of 0.3dB/dB. Therefore it is possible to compensate the change in gain tilt in the EDFA using the opposite change in gain tilt of the Raman gain of the transmission fibre.

When there is a reduction in the input level to the amplifier 1, the extra gain which is needed to maintain the output level of the amplifier at a constant value is jointly provided by an increment

in the gain of the EDFA 3 and an increment in the gain of the Raman amplifier in the transmission fibre 2. The overall change in gain tilt of the amplifier 1 is therefore minimised.

In use, part of the optical output of amplifier 1 is directed into a negative feedback control loop as the Send Level output via photodetector 5 to the signal processing circuit 4. The voltage reference signal generator 16 provides a voltage reference signal V_{ref} to the positive terminal of comparator 15, the Send Level output from photodetector 5 being coupled to the negative terminal of comparator 15. As the Send Level output drops, usually in response to a decrease in input level to the amplifier 1, the negative feedback control loop serves to increase the pump level supplied by pump source 13 thereby increasing the respective gains of the Raman amplifier 2 and the EDFA 3.

The output of pump source 13 is coupled to the splitter 17 which ensures that the pump levels of EDFA 3 and Raman amplifier 2 are simultaneously adjusted in accordance with the Send Level output changes to ensure that the gain tilt of the amplifier 1 remains flat. For example, if a decrease in the Send Level output of 3dB is detected by the signal processing circuit 4, a corresponding 3dB increase in the gain of the amplifier 1 will be required to maintain the Send Level output at a constant level. To achieve this, the gain of the EDFA 3 may be increased by 1.8dB and the gain of the Raman amplifier 2 may be increased by 1.2dB. The proportions of power from the pump source 13 supplied to each of the EDFA 3 and the Raman amplifier stage 2 are set by the splitter 17 and are determined in accordance with a user's needs. As such, the Send Level output of the amplifier 1 will be maintained at a constant level whilst simultaneously ensuring that the gain tilt of the amplifier 1 will also remain substantially flat.

Figures 3 and 4 show graphs of normalised gain of an EDFA and a Raman amplifier respectively against wavelength of an input signal. The graphs show how over a wavelength range of 1544nm to 1560nm the gain tilt of the EDFA changes. At a low value of the gain, the gain tilt is positive, whereas at a high value of the gain the gain tilt is negative. In contrast to this, for the Raman gain in the transmission fibre, for a low value of gain the gain tilt is negative whereas for a high value of gain the gain tilt is positive.

Figure 5 shows a graph of combined normalised gain of an EDFA and a Raman amplifier against wavelength of the input signal. By combining the effects as shown in the graphs of Figures 3 and 4, a constant flat gain tilt over a range of 1544 to 1560nm is obtained.

Figure 6 shows a submarine communications network having a number of optical repeaters 20 each incorporating a number of optical amplifiers according to the present invention. The network has a submarine cable 18 linking first and second endstations 19, and 19, via a number of such optical repeaters 20. The output level of each of the optical repeaters 20 can be determined by setting an appropriate value for the reference voltage signal V_{ref} in the respective signal processor. Since each of the repeaters includes optical amplifiers according to the present invention, relative channel levels of WDM signals in each optical fibre in the submarine cable will be maintained over the entire link.

4. Brief Description of Drawings

Figure 1 shows a block diagram of an optical amplifier according to the present invention.

Figure 2 shows a block diagram of a signal processing circuit suitable for use in the optical amplifier shown in Figure 1.

Figure 3 shows a graph of normalised gain of an EDFA against wavelength of the input signal.

Figure 4 shows a graph of normalised gain of a Raman amplifier against wavelength of the input signal.

Figure 5 shows a graph of combined normalised gain of an EDFA and a Raman amplifier against wavelength of the input signal.

Figure 6 shows a communications network having a number of repeaters having an amplifier according to the present invention.

Fig. 1

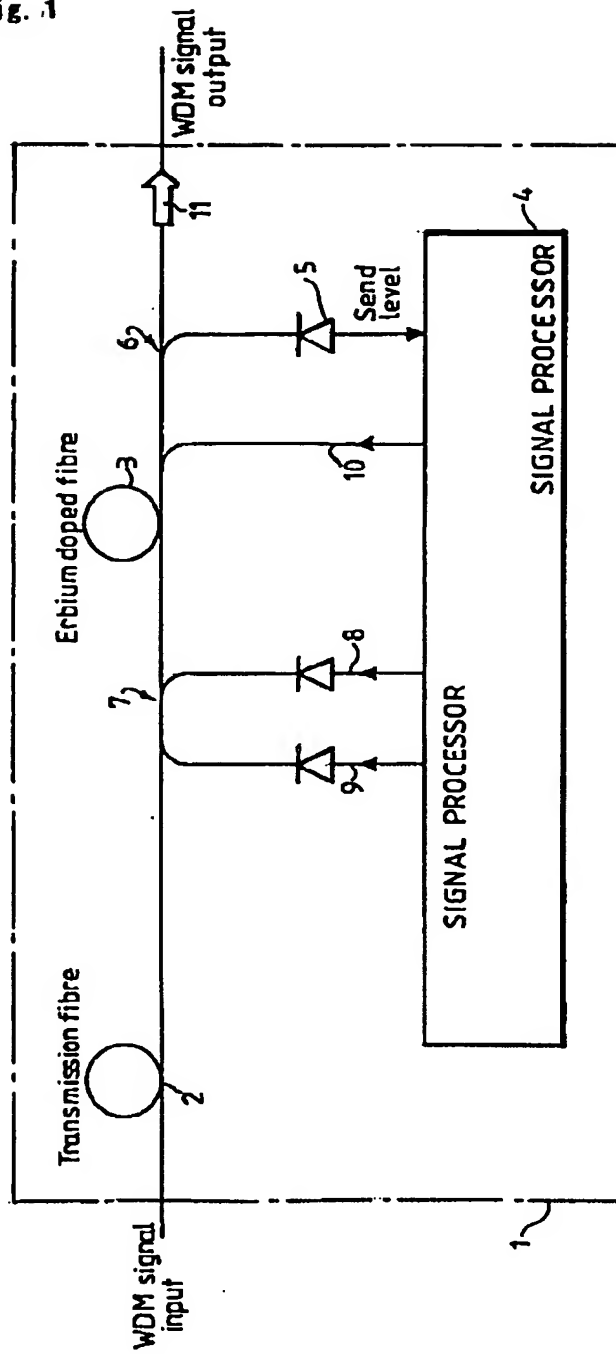


Fig.1.

Fig. 2

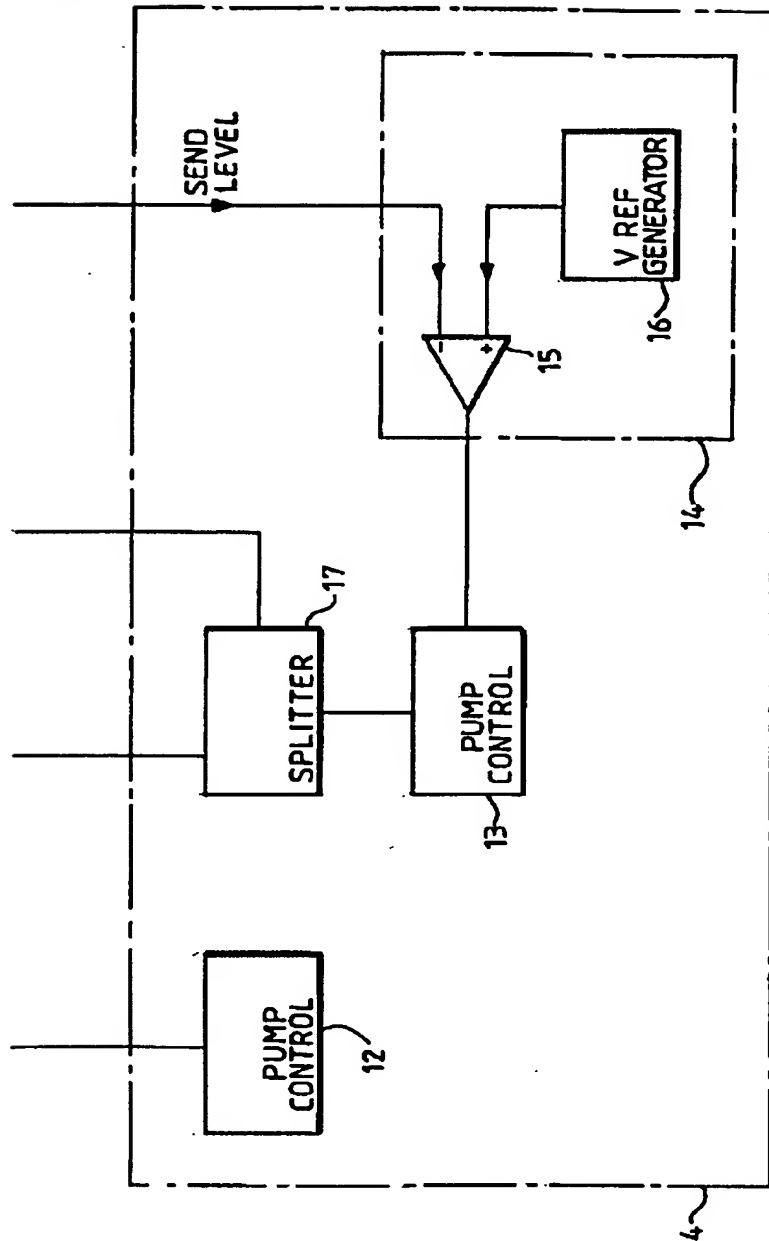


Fig.2.

Fig. 3

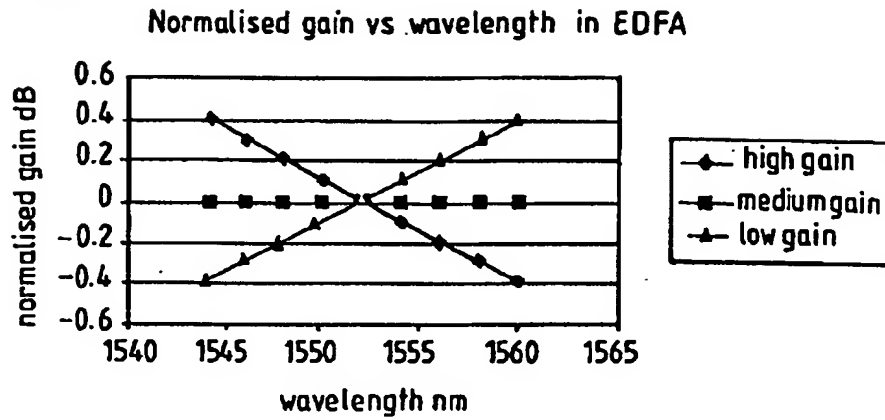


Fig.3.

Fig. 4

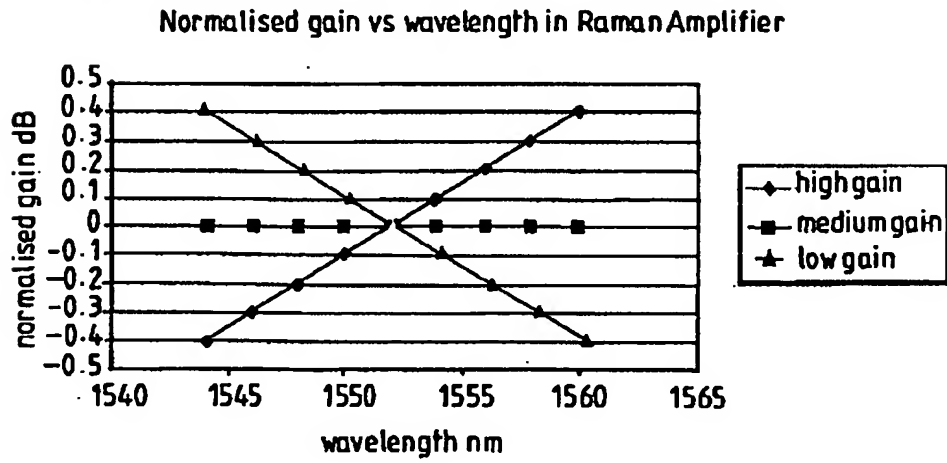


Fig.4.

Fig. 5

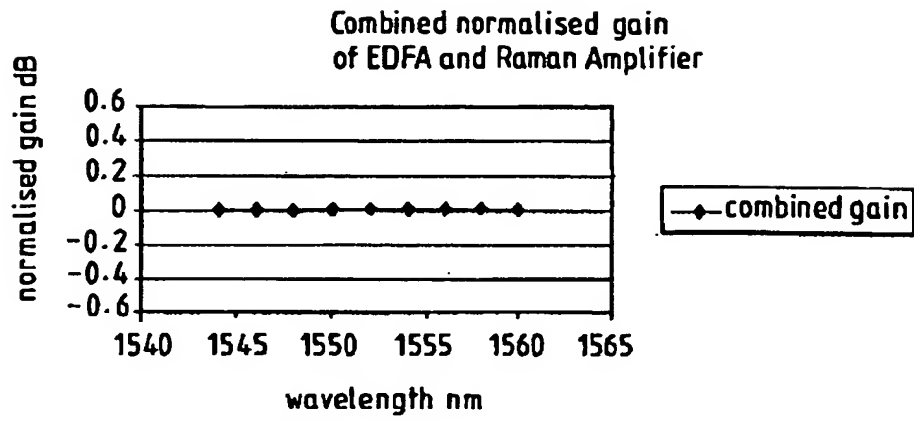
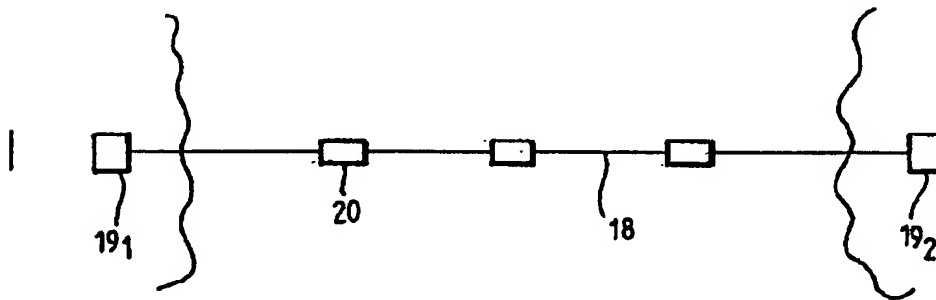
*Fig.5.*

Fig. 6

*Fig.6.*

1. Abstract

The present invention provides an optical amplifier for a wavelength division multiplexed communication system, including a first amplifier stage responsive to changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in one direction, a second amplifier stage (3) responsive to corresponding changes in gain to cause a wavelength dependent gain tilt in an opposite direction and gain control means (4) for controlling the gain of the first (2) and second (3) amplifier stages to maintain a substantially flat response for the amplifier (1) over time, in which the first amplifier stage (2) is a length of optical transmission fibre providing a Raman amplifier. The present invention provides an optical amplifier which uses dynamic gain tilt adjustment whilst maintaining a constant output level from the amplifier.

2. Representative Drawing

Fig. 1